単一量子ドットでの傾斜核四極子場による核スピン緩和

Nuclear spin depolarization due to a tilted quadrupolar field in a single quantum dot

北大院工　松崎 亮典，山本 壮太，鍜治 怜奈○，笹倉 弘理，足立 智
Division of Applied Physics, Hokkaido University, Sapporo, Japan.
R. Matsusaki, S. Yamamoto, R. Kaji ○, H. Sasakura, and S. Adachi
E-mail: r-kaji@eng.hokudai.ac.jp

【はじめに】近年，量子情報処理や新規のスピンデバイス開発に向けた応用の観点から，半導体量子ドット (QD) をプラットフォームとした電子スピン操作が精力的に研究されている．QD では，3 次元閉じ込めによるキャリアの局在化により，電子スピンと核スピンとの間の接触型超微細相互作用 (HFI) の役割が劇的に増大し，電子スピンの感じる有効磁場 (Overhauser field: B_N) と核スピンの感じる有効磁場 (Knight field: B_e) がそれぞれのスピンに対して相互に大きく影響を与える [1]．また，SK モードで成長した QD の特徴である核四極子効果も HFI を通して電子スピンに影響し，種々の新規現象を引き起こすことが示唆されている [2]．本講演では，QD での核四極子効果に着目し，ゼロ磁場下における核スピン分極緩和への影響を考察する．

【実験および結果】 単一 InAlAs QD の正の荷電励起子 (X^+) に着目し，発光の σ^+, σ^- 成分間のエネルギー分裂と強度比 (発光円偏光度：DCP) から，核磁場による電子スピンエネルギーシフト (Overhauser シフト：OHS) と平均電子スピン分極 $\langle S_z \rangle$ を評価した．分裂エネルギーが発光線幅に比べて小さいゼロ・弱磁場領域において，OHS と DCP の測定精度を向上させるために，発光の σ^+/σ^- 成分を CCD 検出器の異なる領域に集光する同時検系を構築した．実験はゼロ磁場，および弱い縦磁場 ($B_z \leq 1$ T) の下で行った．

図 1(a) は $B_z = 0$ T と 0.8 T の下で観測された OHS を $\langle S_z \rangle$ の関数としてプロットしたものである．$\langle S_z \rangle$ は励起偏光の変化に追従して変化する．$B_z = 0$ T での OHS の変化は，$\langle S_z \rangle$ の符号変化に対して反対称となるが，$B_z = 0.8$ T では非対称性が生じ，$\langle S_z \rangle > 0$ の領域でより大きな OHS が観られる．注目すべきは，外部磁場と同じ向きに B_N が形成される $\langle S_z \rangle < 0$ の領域においても，零磁場での OHS より大きな値を示す点である．$\boldsymbol{B}_z \cdot \boldsymbol{B}_N > 0$ の状況下では核磁場形成に係るエネルギーコストが大きくなるため，通常は OHS の減少が観られるが，今回の観測結果は核スピン緩和レート T_{ND}^{-1} が B_z を加えることで減少したと解釈することができる．これまでの理論を用いて実測データを再現すると，核スピン緩和時間が 6 ms (@0 T) から 56 ms (@0.8 T) まで伸長されることが分かった．

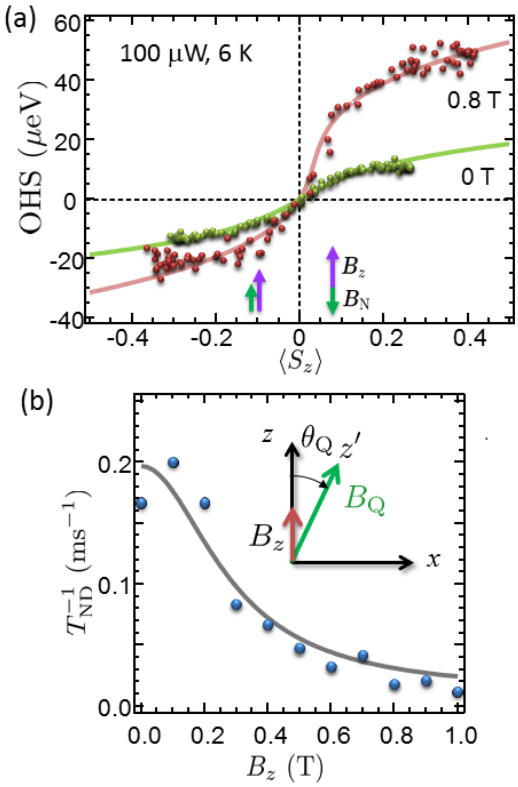

図 1: (a) $B_z = 0$ T と 0.8 T での OHS の $\langle S_z \rangle$ 依存性 (@ 6 K)．(b) 核スピン緩和レート T_{ND}^{-1} の縦磁場 B_z 依存性．

この傾向を詳しく調べるため，B_z を 0-1 T の範囲で変えて T_{ND}^{-1} を抽出する作業を繰り返し行い，その結果を図 1(b) にまとめた．核スピン緩和レートが B_z の増加に伴って減少し，ある値 $T_{ND\infty}^{-1}$ に漸近する様子が観られる．挿入図に示すように，核四極子場 B_Q が僅かでも z 軸から傾いていると，電子スピンの時間的な揺らぎが HFI の永年項を通じて核スピン分極緩和に寄与するが，縦磁場を印加するとこの緩和プロセスが抑制されるため，T_{ND}^{-1} が減少したと考えられる．この振舞いを現象論的な式でフィッティングしたところ (図中の曲線)，核四極子場の特徴的な大きさを 280 mT と見積もることができた [3]．

[1] "*Optical Orientation*", (North-Holland, NewYork, 1984), edited by F. Meier and B. Zakharchenya,
[2] B. Urbaszek *et al.*, Rev. Mod. Phys. **85**, 79 (2013), [3] R. Matsusaki *et al.*, arXiv:1703.06046 (2017).

© 2017年 応用物理学会